

10/520619

日本国特許庁
JAPAN PATENT OFFICE

PCT/JP03/08788

10.07.03

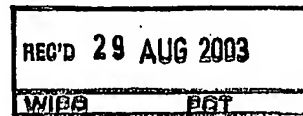
別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日
Date of Application: 2002年 7月10日

出願番号
Application Number: 特願2002-201795
[ST. 10/C]: [JP2002-201795]

出願人
Applicant(s): 住友電気工業株式会社

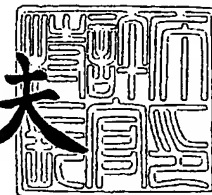


PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)

2003年 8月14日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今井康夫



出証番号 出証特2003-3065510

【書類名】 特許願

【整理番号】 102Y0313

【提出日】 平成14年 7月10日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 C03B 37/027
G02B 6/00

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県横浜市栄区田谷町 1 番地 住友電気工業株式会社
社横浜製作所内

【氏名】 永山 勝也

【特許出願人】

【識別番号】 000002130

【氏名又は名称】 住友電気工業株式会社

【代理人】

【識別番号】 100088155

【弁理士】

【氏名又は名称】 長谷川 芳樹

【選任した代理人】

【識別番号】 100089978

【弁理士】

【氏名又は名称】 塩田 辰也

【選任した代理人】

【識別番号】 100092657

【弁理士】

【氏名又は名称】 寺崎 史朗

【選任した代理人】

【識別番号】 100110582

【弁理士】

【氏名又は名称】 柴田 昌聰

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 014708

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 0106993

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 光ファイバ及びその製造方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 コア領域、及び前記コア領域の外周に設けられたクラッド領域を有する光ファイバ母材を線引炉によって加熱線引して光ファイバとする線引ステップと、

前記線引炉で線引された前記光ファイバを、前記線引炉の後段に設けられた熱処理炉によって 1100℃以上 1600℃以下の温度でアニールする熱処理ステップと、

前記熱処理炉でアニールされた前記光ファイバを、前記熱処理炉の後段に設けられた冷却手段へと 700℃以上の温度で入線し、前記冷却手段によって強制冷却する冷却ステップと
を備えることを特徴とする光ファイバの製造方法。

【請求項 2】 前記冷却ステップにおいて、前記光ファイバを前記冷却手段へと 700℃以上 1300℃以下の温度で入線することを特徴とする請求項 1 記載の光ファイバの製造方法。

【請求項 3】 前記線引ステップ、前記熱処理ステップ、及び前記冷却ステップでの前記光ファイバの線速が 300m/分以上であることを特徴とする請求項 1 記載の光ファイバの製造方法。

【請求項 4】 前記熱処理ステップにおいて、前記光ファイバを前記熱処理炉によって 0.03 秒以上 0.8 秒以下の時間でアニールすることを特徴とする請求項 1 記載の光ファイバの製造方法。

【請求項 5】 前記コア領域は、純 SiO₂に対する % で表した比屈折率差 [Ge] が条件 [Ge] ≥ 0.3 % を満たす添加量で Ge が添加されていることを特徴とする請求項 1 記載の光ファイバの製造方法。

【請求項 6】 前記クラッド領域は、それぞれ純 SiO₂、Ge が添加された SiO₂、または F が添加された SiO₂ のいずれかからなる 1 または複数のクラッド層を有することを特徴とする請求項 1 記載の光ファイバの製造方法。

【請求項 7】 コア領域と、前記コア領域の外周に設けられたクラッド領域

とを備え、前記コア領域は、純SiO₂に対する%で表した比屈折率差[Ge]が条件[Ge] ≥ 0.3%を満たす添加量でGeが添加されているとともに、

レイリー散乱係数A (dB/km・μm⁴)、及び波長1.00 μmでの伝送損失α_{1.00} (dB/km)が、それぞれ次式で表される基準値A₀、及びα₀

$$A_0 = 0.85 + 0.29 [Ge]$$

$$\alpha_0 = 0.86 + 0.29 [Ge]$$

に対して97%以下であり、かつ、波長1.38 μmでの水素処理前後の伝送損失差Δα_{1.38}が0.15 dB/km以下であることを特徴とする光ファイバ。

【請求項8】 前記クラッド領域は、それぞれ純SiO₂、Geが添加されたSiO₂、またはFが添加されたSiO₂のいずれかからなる1または複数のクラッド層を有することを特徴とする請求項7記載の光ファイバ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、低伝送損失で光を伝送する光ファイバ、及びその製造方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】

光ファイバを用いた光の伝送において、光ファイバ内でのレイリー散乱によって生じるレイリー散乱損失や、光ファイバ内の構造の乱れによって生じる構造不整損失などの伝送損失が問題となる。これに対して、伝送損失を低減することが可能な光ファイバ、あるいはその製造方法が提案されている。

【0003】

例えば、文献「坂口、電子情報通信学会論文誌 2000/1 Vol.J83-C No.1, pp.30-36」に、線引後の光ファイバの徐冷によって、光ファイバでのレイリー散乱損失を低減することが記載されている。すなわち、ガラス内でのレイリー散乱強度は材料によって一定に定まるものではなく、ガラス内での原子の配列状態の乱雑さを示す仮想的な温度である仮想温度T_f (Fictive Temperature) に依存する。具体的には、ガラス内の仮想温度T_fが高く（乱雑さが大きく）なると、レイ

リー散乱強度は増大する。

【0004】

これに対して、光ファイバ母材を加熱線引するときに、線引炉の後段に熱処理炉を設置しておき、線引後の光ファイバが熱処理炉を通過するときに所定の温度範囲内となるように加熱して、光ファイバをアニールする。このような光ファイバのアニールによって、線引後における光ファイバの急激な冷却が防止され、光ファイバが徐冷される。このとき、原子の再配列によるガラスの構造緩和によって、光ファイバ内の仮想温度 T_f が低下して、光ファイバ内でのレイリー散乱強度が抑制される。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】

上述したように、線引炉の後段に設けられた熱処理炉を用いて光ファイバをアニールすることにより、光ファイバでのレイリー散乱損失を低減することができる。一方、このレイリー散乱損失とは別に、コアに Ge (ゲルマニウム) が添加された光ファイバにおいて、Ge に起因する欠陥によって波長 $0.63\mu\text{m}$ での幅の広い損失ピークが増大することが知られている。

【0006】

このような波長 $0.63\mu\text{m}$ での損失は、Si-O 欠陥、あるいは非架橋酸素ホールセンター (NB OHC) などの光ファイバ内での欠陥に起因して発生する (例えば、文献「花房、セラミックス 21 (1986) No.9, pp.860-868」参照)。そして、これらの光ファイバ内での欠陥は、水素雰囲気中で Si-O-H となるため、OH 基に起因する波長 $1.38\mu\text{m}$ での損失ピークが増大する原因となる。また、特開昭 60-186430 号公報には、線引後の光ファイバを 600°C 以上でアニールすることにより、上記した波長 $0.63\mu\text{m}$ での損失が低減されることが記載されている。

【0007】

したがって、レイリー散乱損失を低減するとともに、良好な耐水素特性を有する光ファイバを製造するには、線引後の光ファイバに対して、仮想温度 T_f を低下させてレイリー散乱損失を低減するための高温でのアニールと、光ファイバ内

での欠陥を減少させて波長 $0.63\ \mu\text{m}$ での損失を低減するための中温でのアニールとを行う必要がある。ここで、良好な耐水素特性を有する、ということは、水素雰囲気下でも OH 基に起因する波長 $1.38\ \mu\text{m}$ での損失ピークが増大しないことをいう。

【0008】

しかしながら、このように広い温度範囲で光ファイバに対するアニールを行う場合、相当な長さのアニール用の熱処理炉が必要となり、線引炉及び熱処理炉を含む線引装置が大型化するという問題がある。また、線引時における光ファイバの線速をアニールのために低く設定しなくてはならず、光ファイバの生産性が低下する。

【0009】

本発明は、以上の問題点を解決するためになされたものであり、レイリー散乱損失が低減され、かつ、良好な耐水素特性を有する光ファイバ、及び生産性の良い光ファイバの製造方法を提供することを目的とする。

【0010】

【課題を解決するための手段】

このような目的を達成するために、本発明による光ファイバの製造方法は、（1）コア領域、及びコア領域の外周に設けられたクラッド領域を有する光ファイバ母材を線引炉によって加熱線引して光ファイバとする線引ステップと、（3）線引炉で線引された光ファイバを、線引炉の後段に設けられた熱処理炉によって 1100°C 以上 1600°C 以下の温度でアニールする熱処理ステップと、（4）熱処理炉でアニールされた光ファイバを、熱処理炉の後段に設けられた冷却手段へと 700°C 以上の温度で入線し、冷却手段によって強制冷却する冷却ステップとを備えることを特徴とする。

【0011】

上記した光ファイバの製造方法においては、光ファイバ母材を加熱線引するときに、線引炉の後段に熱処理炉を設置する。そして、線引後の光ファイバが熱処理炉を通過するときに、その炉温を 1100°C 以上 1600°C 以下の範囲内での所定温度として、光ファイバをアニールしている。このように、熱処理炉を用い

て光ファイバの徐冷を行うことにより、光ファイバ内の仮想温度 T_f を低下させて、光ファイバでのレイリー散乱損失を低減することができる。

【0012】

また、アニールされた光ファイバに対して、熱処理炉の後段にさらに冷却手段を設置し、この冷却手段によって光ファイバを強制冷却している。これにより、線引装置の長さが短縮されるなど、線引装置を全体として小型化することができる。また、線引時における光ファイバの線速を高くするなど、光ファイバを効率的に製造することが可能となる。

【0013】

また、この冷却手段による光ファイバの強制冷却について、冷却手段への光ファイバの入線温度を 700°C 以上の温度としている。これにより、波長 $0.63\mu\text{m}$ での損失の増大、及び耐水素特性の劣化による波長 $1.38\mu\text{m}$ での損失の増大の原因となる光ファイバ内での $\text{Si}-\text{O}$ 欠陥や NBOHC などの欠陥を減少させることができる。以上より、レイリー散乱損失が低減され、かつ、良好な耐水素特性を有する光ファイバを生産性良く製造することが可能となる。

【0014】

また、冷却ステップにおいて、光ファイバを冷却手段へと 700°C 以上 1300°C 以下の温度で入線することを特徴とする。冷却手段への光ファイバの入線温度をこのような範囲内の所定温度とすることにより、光ファイバ内での欠陥の確実な減少と、光ファイバの効率的な強制冷却とを、好適に両立することができる。

【0015】

また、線引ステップ、熱処理ステップ、及び冷却ステップでの光ファイバの線速が $300\text{m}/\text{分}$ 以上であることを特徴とする。このように、線引時における光ファイバの線速を比較的高い線速とすることにより、光ファイバの生産性を向上することができる。

【0016】

また、熱処理ステップにおいて、光ファイバを熱処理炉によって 0.03 秒以上 0.8 秒以下の時間でアニールすることを特徴とする。このようなアニール時

間で光ファイバのアニールを行うことにより、光ファイバでのレイリー散乱損失を十分に低減することができる。

【0017】

また、コア領域は、純 SiO_2 に対する % で表した比屈折率差 $[\text{Ge}]$ が条件 $[\text{Ge}] \geq 0.3\%$ を満たす添加量で Ge が添加されていることが好ましい。このようにコアに Ge が添加された光ファイバでは、光ファイバ内での $\text{Si}-\text{O}$ 欠陥や NbOH などの欠陥が発生しやすい。これに対して、上記した製造方法によれば、光ファイバ内での欠陥を減少させて、良好な耐水素特性を有する光ファイバを製造することができる。

【0018】

また、クラッド領域は、それぞれ純 SiO_2 、 Ge が添加された SiO_2 、または F が添加された SiO_2 のいずれかからなる 1 または複数のクラッド層を有することが好ましい。このような構成によれば、シングルモードファイバ (SMF: Single Mode Fiber)、分散シフトファイバ (DSF: Dispersion Shift Fiber)、及び分散補償ファイバ (DCF: Dispersion Compensation Fiber) など、様々な種類の光ファイバが得られる。

【0019】

本発明による光ファイバは、(1) コア領域と、コア領域の外周に設けられたクラッド領域とを備え、コア領域は、純 SiO_2 に対する % で表した比屈折率差 $[\text{Ge}]$ が条件 $[\text{Ge}] \geq 0.3\%$ を満たす添加量で Ge が添加されているとともに、(2) レイリー散乱係数 A ($\text{dB}/\text{km} \cdot \mu\text{m}^4$)、及び波長 $1.00 \mu\text{m}$ での伝送損失 $\alpha_{1.00}$ (dB/km) が、それぞれ次式で表される基準値 A_0 、及び α_0

$$A_0 = 0.85 + 0.29 [\text{Ge}]$$

$$\alpha_0 = 0.86 + 0.29 [\text{Ge}]$$

に対して 97% 以下であり、かつ、(3) 波長 $1.38 \mu\text{m}$ での水素処理前後の伝送損失差 $\Delta \alpha_{1.38}$ が $0.15 \text{ dB}/\text{km}$ 以下であることを特徴とする。

【0020】

上記した光ファイバにおいては、コアに所定の添加量で Ge が添加された光フ

ファイバにおいて、そのレイリー散乱係数 A 、及びレイリー散乱損失を含む伝送損失 α 1.00が、通常の光ファイバでの値を示す基準値 A_0 、 α_0 よりも3%以上低減されて、97%以下の値となっている。さらに、光ファイバの耐水素特性に対する指標となる水素処理前後の伝送損失差 $\Delta\alpha$ 1.38が、0.15 dB/km以下に低減されている。これにより、レイリー散乱損失が低減され、かつ、良好な耐水素特性を有する光ファイバが得られる。このような光ファイバは、上述した製造方法によって製造することが可能である。

【0021】

また、クラッド領域は、それぞれ純 SiO_2 、 Ge が添加された SiO_2 、または F が添加された SiO_2 のいずれかからなる1または複数のクラッド層を有することを特徴とする。このような構成によれば、シングルモードファイバ、分散シフトファイバ、及び分散補償ファイバなど、様々な種類の光ファイバが得られる。

【0022】

【発明の実施の形態】

以下、図面とともに本発明による光ファイバ、及びその製造方法の好適な実施形態について詳細に説明する。なお、図面の説明においては同一要素には同一符号を付し、重複する説明を省略する。また、図面の寸法比率は、説明のものと必ずしも一致していない。

【0023】

図1は、本発明による光ファイバの製造方法、及び光ファイバの製造に用いられる線引装置の一実施形態を概略的に示す構成図である。

【0024】

図1に示す線引装置1は、石英ガラス系の光ファイバを線引するために用いられる線引装置であり、線引炉11、徐冷用の熱処理炉21、及び冷却手段31を有して構成されている。これらの線引炉11、熱処理炉21、及び冷却手段31は、光ファイバ母材2を線引する方向（図1における上下方向）にこの順で設置されている。また、熱処理炉21及び冷却手段31の後段には、線引されたガラスファイバ3を樹脂によって被覆する樹脂被覆部40が設けられている。

【0025】

本線引装置1を用いた光ファイバの製造においては、まず、コア領域、及びコア領域の外周に設けられたクラッド領域を有して構成された光ファイバ母材2を準備し、母材供給装置（図示していない）に保持された光ファイバ母材2を線引炉11へと供給する。そして、線引炉11内のヒータ12によって光ファイバ母材2の下端を加熱して軟化させ、所定の線速で線引してガラスファイバ3とする（線引ステップ）。線引炉11の炉心管13には、不活性ガス供給部14からのガス供給通路15が接続されており、炉心管13内が不活性ガス雰囲気となるように構成されている。

【0026】

加熱線引されたガラスファイバ3は炉心管13内にて、例えば1700℃程度にまで不活性ガスにより急激に冷却される。その後、ガラスファイバ3は、炉心管13の下部から線引炉11外に出され、線引炉11と熱処理炉21との間にて空冷される。不活性ガスとしては、例えばN₂ガスを用いることができる。N₂ガスの熱伝導係数 λ （T=300K）は26mW/(m・K)である。また、空気の熱伝導係数 λ （T=300K）は26mW/(m・K)である。

【0027】

次に、線引され空冷されたガラスファイバ3を、線引炉11と樹脂被覆部40との間であって、線引炉11の後段の所定位置に設けられたアニール用の熱処理炉21に送る。そして、熱処理炉21内のヒータ22によってガラスファイバ3を所定温度でアニールする（熱処理ステップ）。この熱処理炉21では、熱処理炉21の炉温となるヒータ22の温度を1100℃以上1600℃以下の範囲内にある所定温度として、ガラスファイバ3のアニールを行う。

【0028】

熱処理炉21は、その中をガラスファイバ3が通過する炉心管23を有する。熱処理炉21の炉心管23には、N₂ガス供給部24からのガス供給通路25が接続されており、炉心管23内がN₂ガス雰囲気となるように構成されている。N₂ガスを用いる代わりに、空気あるいはArなどの分子量が比較的大きいガス等を用いることも可能である。ただし、炉心管がカーボン製である場合には、酸

素を含まないガスを用いる必要がある。

【0029】

続いて、アニールされたガラスファイバ3を、線引炉11と樹脂被覆部40との間であって、熱処理炉21の後段の所定位置に設けられた強制冷却用の冷却手段31に送る。そして、冷却手段31によってガラスファイバ3を所定温度まで冷却する（冷却ステップ）。この冷却手段31は、熱処理炉21でアニールされたガラスファイバ3が、700℃以上の所定温度、好ましくは700℃以上1300℃以下の範囲内にある所定温度で冷却手段31へと入線されるように配置されている。

【0030】

冷却手段31は、その中をガラスファイバ3が通過する円筒状の管32を有する。また、円筒管32の側壁には、冷却ガス供給部34に接続された複数のノズル33が設けられている。これにより、円筒管32中を通過するガラスファイバ3に対して冷却ガス供給部34からの冷却ガスが供給され、ガラスファイバ3が強制的に冷却される。冷却ガスとしては、好ましくはHeガスが用いられる。

【0031】

冷却手段31を出たガラスファイバ3は、外径測定器51により外径がオンライン測定される。そして、その測定値がドラム52を回転駆動する駆動モータ53にフィードバックされて、外径が一定となるようにドラム52の回転が駆動制御される。外径測定器51からの出力信号は、制御手段としての制御ユニット54に送られる。制御ユニット54は、ガラスファイバ3の外径があらかじめ設定された所定値となるように、ドラム52及び駆動モータ53の回転速度を演算によって求める。

【0032】

制御ユニット54からは、演算によって求めたドラム52及び駆動モータ53の回転速度を示す出力信号が、駆動モータ用ドライバ（図示していない）に出力される。この駆動モータ用ドライバは、制御ユニット54からの出力信号に基づいて、駆動モータ53の回転速度を制御する。

【0033】

外径測定器51によって外径が測定されたガラスファイバ3は、2段（タンデム）に構成された樹脂被覆部40へと入線される。まず、1段目の樹脂被覆部において、外径測定器51を通過したガラスファイバ3に対し、コーティングダイス41によりUV樹脂42が塗布される。塗布されたUV樹脂42は、樹脂硬化部43のUVランプ44からの紫外光によって硬化される。

【0034】

さらに、2段目の樹脂被覆部において、樹脂硬化部43からのガラスファイバ3に対し、コーティングダイス46によりUV樹脂47が塗布される。塗布されたUV樹脂47は、樹脂硬化部48のUVランプ49からの紫外光によって硬化される。これにより、ガラスファイバ3が樹脂によって被覆された光ファイバ素線4が形成される。そして、光ファイバ素線4は、ガイドローラ56を経て、ドラム52によって巻き取られる。ドラム52は、回転駆動軸55に支持されており、この回転駆動軸55の端部は駆動モータ53に接続されている。

【0035】

なお、線引炉11の炉心管13には、上述したように不活性ガス供給部14からのガス供給通路15が接続されており、炉心管13内が不活性ガス雰囲気となるように構成されている。これに対して、不活性ガス供給部14としてN₂ガス供給部を設け、炉心管13内にN₂ガスを供給してN₂ガス雰囲気となるように構成しても良い。また、Heガス供給部とN₂ガス供給部とを併設し、線速に応じて炉心管13内にHeガスまたはN₂ガスを供給する構成としても良い。

【0036】

上述した実施形態の光ファイバの製造方法による効果について説明する。

【0037】

図1に示した光ファイバの製造方法では、光ファイバ母材2を加熱線引するときに、線引炉11の後段に熱処理炉21を設置する。そして、線引後のガラスファイバ3が熱処理炉21を通過するときに、その炉温を1100℃以上1600℃以下の範囲内の所定温度に設定して、ガラスファイバ3をアニールしている。このように、熱処理炉21を用いて光ファイバの徐冷を行うことにより、光ファイバ内の仮想温度T_fを低下させて、光ファイバでのレイリー散乱損失を低減

することができる。

【0038】

また、熱処理炉21でアニールされたガラスファイバ3に対して、熱処理炉21の後段にさらに冷却手段31を設置し、この冷却手段31によってガラスファイバ3を強制冷却している。これにより、熱処理炉21を出たガラスファイバを数10℃まで冷却するのに必要なパスライン長が短縮される。こうして、線引炉11及び熱処理炉21を含む線引装置1の長さ（線引装置の高さ）が短縮されるので、図1に示した構成の線引装置1を全体として小型化することができる。

【0039】

例えば、線引炉11及び熱処理炉21の後段に樹脂被覆部40が設置されている構成では、ガラスファイバ3を樹脂によって被覆するときに、ガラスファイバ3が十分に冷却されている必要がある。これに対して、図1に示した線引装置1では、冷却手段31でガラスファイバ3を適当な温度まで冷却することができる。また、線引時におけるガラスファイバ3の線速（線引速度）を高くするなど、ガラスファイバ3及び光ファイバ素線4を効率的に製造することが可能となる。

【0040】

また、この冷却手段31によるガラスファイバ3の強制冷却について、冷却手段31へのガラスファイバ3の入線温度を700℃以上の温度としている。これにより、波長0.63μmでの損失の増大、及び耐水素特性の劣化による波長1.38μmでの損失の増大の原因となる光ファイバ内でのSi-O欠陥やNbOHなどの欠陥を減少させることができる。以上より、レイリー散乱損失が低減され、かつ、良好な耐水素特性を有するガラスファイバ3を生産性良く製造することが可能となる。

【0041】

冷却手段31へのガラスファイバ3の入線温度は、さらに、700℃以上1300℃以下の範囲内の所定温度とすることが好ましい。これにより、ガラスファイバ3内での欠陥の確実な減少と、ガラスファイバ3の効率的な強制冷却とを、好適に両立することができる。

【0042】

また、線引炉 11 による線引、熱処理炉 21 によるアニール、及び冷却手段 31 による強制冷却においては、ガラスファイバ 3 の線速を 300 m/分以上とすることが好ましい。このように、線引時でのガラスファイバ 3 の線速を比較的高い線速とすることにより、ガラスファイバ 3 の生産性を向上することができる。

【0043】

また、熱処理炉 21 によるガラスファイバ 3 のアニールについては、0.03 秒以上 0.8 秒以下のアニール時間でアニールを行うことが好ましい。このような範囲内での所定時間でガラスファイバ 3 のアニールを行うことにより、ガラスファイバ 3 でのレイリー散乱損失を十分に低減することができる。

【0044】

次に、本発明による光ファイバについて説明する。なお、以下に示す光ファイバは、上述した製造方法によって好適に製造することが可能である。

【0045】

図 2 は、本発明による光ファイバの第 1 実施形態について、その屈折率プロファイルを示すグラフである。このグラフにおいて、横軸は光ファイバ内の各部位の中心軸からみた位置を示している。また、縦軸は光ファイバ内の各部位での純 SiO_2 に対する比屈折率差 (%) を示している。

【0046】

本実施形態の光ファイバは、コア領域 100 と、コア領域 100 の外周に設けられたクラッド領域 110 とを備える。コア領域 100 は、光ファイバの中心軸を含んだ半径 r_0 の層として形成されている。また、このコア領域 100 は、所定の添加量で Ge が添加された SiO_2 からなる。

【0047】

具体的には、コア領域 100 には、純 SiO_2 に対する % で表した比屈折率差 [Ge] によって Ge の添加量を表したときに、条件

$$[\text{Ge}] \geq 0.3\%$$

を満たす添加量で Ge が添加されている。これにより、コア領域 100 の比屈折率差 Δn_0 は、 $\Delta n_0 = [\text{Ge}] > 0$ となっている。

【0048】

また、クラッド領域110は、本実施形態では、1層のクラッド層111から構成されている。クラッド層111は、コア領域100の外周に設けられた半径 r_1 の層として形成されている。また、このクラッド層111は、純 SiO_2 からなる。これにより、クラッド層111の比屈折率差 Δn_1 は、 $\Delta n_1=0$ となっている。

【0049】

このような構成において、本光ファイバは、光ファイバで発生するレイリー散乱損失についてのレイリー散乱係数 A ($\text{dB/km} \cdot \mu\text{m}^4$)、及び波長 $1.00 \mu\text{m}$ での伝送損失 $\alpha_{1.00}$ (dB/km)が、それぞれ次式で表される基準値 A_0 、及び α_0

$$A_0 = 0.85 + 0.29 [\text{Ge}]$$

$$\alpha_0 = 0.86 + 0.29 [\text{Ge}]$$

に対して97%以下となるように形成されている。さらに、本光ファイバは、波長 $1.38 \mu\text{m}$ での水素処理前後の伝送損失差 $\Delta \alpha_{1.38}$ が 0.15 dB/km 以下となるように形成されている。ここで、 A_0 は、例えば $[\text{Ge}] = 0.35\%$ であれば、 $A_0 = 0.85 + 0.29 \times 0.35 = 0.95$ である。

【0050】

図2に示した光ファイバでは、そのコア領域100に対して、条件 $[\text{Ge}] \geq 0.3\%$ を満たす添加量で Ge が添加されている。このようにコアに Ge が添加された光ファイバでは、 Ge に起因して光ファイバ内での Si-O 欠陥や NBOHC などの欠陥が発生しやすい。そして、これらの欠陥は、上述したように、波長 $0.63 \mu\text{m}$ での損失の増大、及び耐水素特性の劣化による波長 $1.38 \mu\text{m}$ での損失の増大の原因となる。

【0051】

これに対して、上記した光ファイバでは、コア領域100に Ge が添加された光ファイバにおいて、そのレイリー散乱係数 A 、及びレイリー散乱損失を含む伝送損失 $\alpha_{1.00}$ が、通常的光ファイバでの値を示す基準値 A_0 、 α_0 よりも3%以上低減されて、97%以下の値となっている。さらに、後述するように光ファイバ内に発生している欠陥の量に依存し、光ファイバの耐水素特性に対する指標とな

る水素処理前後の伝送損失差 $\Delta \alpha_{1.38}$ が、 0.15 dB/km 以下に低減されている。これにより、レイリー散乱損失が低減され、かつ、良好な耐水素特性を有する光ファイバが得られる。

【0052】

ここで、コア領域 100 の外周に設けられるクラッド領域 110 については、図 2 に示した構成では純 SiO_2 からなる 1 層のクラッド層 111 を有する構成としたが、一般には、それぞれ純 SiO_2 、Ge が添加された SiO_2 、または F が添加された SiO_2 のいずれかからなる 1 層または複数層のクラッド層を有する構成とすることが好ましい。

【0053】

このような構成によれば、シングルモードファイバ (SMF: Single Mode Fiber)、分散シフトファイバ (DSF: Dispersion Shift Fiber)、及び分散補償ファイバ (DCF: Dispersion Compensation Fiber) など、様々な種類の光ファイバを、良好な特性によって生産性良く製造することができる。

【0054】

上述した光ファイバの各特性条件について、さらに説明する。本実施形態の光ファイバでは、レイリー散乱損失等の低減効果を評価するための指標として、レイリー散乱係数 A、及び波長 $1.00 \mu\text{m}$ での伝送損失 $\alpha_{1.00}$ を用い、これらのレイリー散乱係数 A、及び伝送損失 $\alpha_{1.00}$ を、通常の値を示す基準値 A_0 、 α_0 よりも 3% 以上低減された、97% 以下の値としている。

【0055】

光ファイバでの波長 λ における伝送損失 α_λ (dB/km) は、レイリー散乱損失と、それ以外の構造不整損失などの伝送損失成分により、一般に次式

$$\alpha_\lambda = A/\lambda^4 + B + C(\lambda)$$

で表される。このうち、第 1 項 A/λ^4 (dB/km) がレイリー散乱損失を示しており、その係数 A がレイリー散乱係数 ($\text{dB/km} \cdot \mu\text{m}^4$) である。上式より、レイリー散乱損失はレイリー散乱係数 A に比例しており、したがって、レイリー散乱係数 A が基準値から 3% 低減されれば、レイリー散乱損失が 3% 低減されることとなる。

【0056】

ここで、熱処理炉による光ファイバのアニール等を行わない通常の製造方法によって得られる光ファイバでは、コア領域への G_e の添加量を上述した $[G_e]$ で表したとき、レイリー散乱係数 A ($\text{dB}/\text{km} \cdot \mu\text{m}^4$) の値は、次式

$$A_0 = 0.85 + 0.29 [G_e]$$

となる。したがって、この通常での値 A_0 をレイリー散乱係数 A の基準値とすることができる。このとき、得られた光ファイバでのレイリー散乱係数 A が、基準値 A_0 から 3% 以上低減されていれば良い。

【0057】

また、レイリー散乱損失を含む全体の伝送損失を評価するため、波長 $1.00 \mu\text{m}$ での伝送損失 $\alpha_{1.00}$ を指標としても良い。波長 $1.00 \mu\text{m}$ では、上記した伝送損失 α_λ の表式中、 $B + C(\lambda)$ はほぼ 0.01 であり、したがって、通常の製造方法で得られる光ファイバでは、伝送損失 $\alpha_{1.00}$ (dB/km) の値は、次式

$$\begin{aligned} \alpha_0 &= A_0 + 0.01 \\ &= 0.86 + 0.29 [G_e] \end{aligned}$$

となる。したがって、この通常での値 α_0 を伝送損失 $\alpha_{1.00}$ の基準値とすることができる。このとき、得られた光ファイバでの伝送損失 $\alpha_{1.00}$ が、基準値 α_0 から 3% 以上低減されることが好ましい。

【0058】

このように、レイリー散乱係数 A 、または伝送損失 $\alpha_{1.00}$ を指標として用いることによって、レイリー散乱損失、あるいはレイリー散乱損失を含む全体の伝送損失の低減効果を確実に得ることが可能となる。また、上記した基準値 A_0 、 α_0 のそれぞれの表式によれば、表式中に、コアへの G_e の添加量に関する変数 $[G_e]$ が含まれている。したがって、 G_e の添加量に応じた伝送損失の評価が可能である。

【0059】

なお、レイリー散乱係数 A については、上式より、伝送損失の波長依存性のデータ（例えば $1/\lambda^4$ プロットでの傾き）から求めることができる。また、全体

の伝送損失を評価する指標として、波長 $1.00\mu\text{m}$ での伝送損失 $\alpha_{1.00}$ を用いているが、これは、 $1.00\mu\text{m}$ での伝送損失の値が、光伝送に用いられる $1.55\mu\text{m}$ の波長帯域などに比べて大きく、 $1\sim 10\text{km}$ 程度の比較的短い光ファイバサンプルで、十分な精度で評価できるためである。

【0060】

また、光ファイバの波長 $1.00\mu\text{m}$ での伝送損失 $\alpha_{1.00}$ と、波長 $1.55\mu\text{m}$ での伝送損失 $\alpha_{1.55}$ とは一定の関係を有して対応しており、伝送損失 $\alpha_{1.00}$ で低減効果を評価することによって、伝送損失 $\alpha_{1.55}$ についても、同様にその低減を確認することができる。具体的な対応関係としては、波長 $1.00\mu\text{m}$ での伝送損失 $\alpha_{1.00}$ は、上記したように

$$\alpha_{1.00} = A + 0.01$$

で表されるが、この表式に相当する波長 $1.55\mu\text{m}$ での伝送損失 $\alpha_{1.55}$ の表式は、次式

$$\alpha_{1.55} = A \times 0.17325 + 0.025$$

である。

【0061】

次に、上述した光ファイバでの伝送損失差 $\Delta\alpha_{1.38}$ に対する特性条件について説明する。本実施形態の光ファイバでは、光ファイバの耐水素特性に対する指標として、波長 $1.38\mu\text{m}$ での水素処理前後の伝送損失差 $\Delta\alpha_{1.38}$ を用い、この伝送損失差 $\Delta\alpha_{1.38}$ を、 0.15dB/km 以下の値としている。

【0062】

コア領域にGeが添加された構成の光ファイバでは、上述したように、Geに起因するSi-O欠陥、NBOHCなどの欠陥によって、波長 $0.63\mu\text{m}$ での幅の広い損失ピークが増大する。これらの欠陥は、水素雰囲気中でSi-O-Hとなり、OH基による波長 $1.38\mu\text{m}$ での損失の増大の原因となる。

【0063】

したがって、この波長 $1.38\mu\text{m}$ での伝送損失 $\alpha_{1.38}$ について、水素処理前と水素処理後との伝送損失差 $\Delta\alpha_{1.38}$ を求めることにより、線引後の光ファイバに発生している欠陥について評価することができる。そして、この伝送損失差 Δ

$\alpha_{1.38}$ を0.15 dB/km以下とすることにより、良好な耐水素特性を有する光ファイバを得ることができる。

【0064】

ここで、水素処理前後の伝送損失差 $\Delta \alpha_{1.38}$ については、具体的には、窒素99%：水素1%の水素雰囲気中において、温度80℃で20時間の水素処理を行う。そして、水素処理前の光ファイバに対して得られた波長1.38 μm での伝送損失 $\alpha_{1.38}$ と、水素処理後の光ファイバに対して得られた伝送損失 $\alpha_{1.38}$ との差である損失の増大分から、耐水素特性の指標となる伝送損失差 $\Delta \alpha_{1.38}$ を求めている。水素処理前の光ファイバでの欠陥の発生が抑制されれば、伝送損失差 $\Delta \alpha_{1.38}$ は低減される。

【0065】

本発明による光ファイバ、及びその製造方法による伝送損失の低減効果、及び耐水素特性の向上効果について、具体的な実施例及び比較例とともに説明する。なお、以下に示す実施例での光ファイバでは、いずれも図1に示した構成の線引装置1を用いて製造することとしている。

【0066】

図3は、本発明による光ファイバの実施例A1～A4における製造条件、及びその損失特性について示す表である。ここでは、製造される光ファイバとして、図2に示した構成を有するGe添加シングルモードファイバ(Ge-SM)を想定している。具体的には、Geが添加されたSiO₂からなるコア領域100の外径を $2r_0=8\mu\text{m}$ 、比屈折率差を $\Delta n_0=[\text{Ge}]=0.35\%$ 、純SiO₂からなるクラッド層111の外径を $2r_1=125\mu\text{m}$ 、比屈折率差を $\Delta n_1=0\%$ に設定している。

【0067】

また、その製造条件については、光ファイバ3を強制冷却する冷却手段31としては、直径6mm、長さ4mのものを用い、また、冷却ガスとしてHeガスを20l/分.(20slm)の流量で供給している。また、光ファイバ3を線引する線速を400m/分としている。また、熱処理炉21における光ファイバ3のアニール温度(℃)、及び冷却手段31への光ファイバ3の入線温度(℃)は、

各実施例について図3の表中に示す通りである。

【0068】

また、図3の表には、各実施例での光ファイバの損失特性として、波長 $1.55\mu\text{m}$ での伝送損失 $\alpha_{1.55}$ (dB/km)、及び波長 $0.63\mu\text{m}$ での伝送損失 $\alpha_{0.63}$ (dB/km)を示している。これらの損失値は、いずれも光ファイバに対して水素処理を行う前のものである。

【0069】

これらの損失値のうち、波長 $1.55\mu\text{m}$ での伝送損失 $\alpha_{1.55}$ は、熱処理炉21で線引後の光ファイバ3をアニールすることによるレイリー散乱損失の低減効果を主に示している。また、波長 $0.63\mu\text{m}$ での伝送損失 $\alpha_{0.63}$ は、アニール後の光ファイバ3の冷却手段31での強制冷却等による光ファイバ内での欠陥の低減効果を示している。

【0070】

この伝送損失 $\alpha_{0.63}$ が増大する原因となる光ファイバ内での欠陥は、上述したように、光ファイバに対して水素処理を行った後において、波長 $1.38\mu\text{m}$ での損失の増大の原因となるものである。

【0071】

図3の表に示した実施例A1～A4のうち、実施例A1では、熱処理炉でのアニール温度を 1100°C 、冷却手段への入線温度を 700°C に設定しており、得られた伝送損失は $\alpha_{1.55}=0.185\text{ dB/km}$ 、 $\alpha_{0.63}=6\text{ dB/km}$ となっている。また、実施例A2では、熱処理炉でのアニール温度を 1400°C 、冷却手段への入線温度を 1000°C に設定しており、得られた伝送損失は $\alpha_{1.55}=0.180\text{ dB/km}$ 、 $\alpha_{0.63}=6\text{ dB/km}$ となっている。

【0072】

また、実施例A3では、熱処理炉でのアニール温度を 1550°C 、冷却手段への入線温度を 1200°C に設定しており、得られた伝送損失は $\alpha_{1.55}=0.182\text{ dB/km}$ 、 $\alpha_{0.63}=7\text{ dB/km}$ となっている。また、実施例A4では、熱処理炉でのアニール温度を 1550°C 、冷却手段への入線温度を 1300°C に設定しており、得られた伝送損失は $\alpha_{1.55}=0.182\text{ dB/km}$ 、 $\alpha_{0.63}=9\text{ dB/km}$ となっている。

B/kmとなっている。

【0073】

これらの実施例では、熱処理炉でのアニール温度が、いずれも1100℃以上1600℃以下の範囲内の温度となっている。これにより、光ファイバでのレイリー散乱損失が低減されて、レイリー散乱損失を含む波長1.55μmでの伝送損失 $\alpha_{1.55}$ が低減されている。また、冷却手段への入線温度が、いずれも700℃以上の範囲内の温度となっている。これにより、光ファイバ内での欠陥が減少されて、欠陥に起因する波長0.63μmでの伝送損失 $\alpha_{0.63}$ が低減されている。

【0074】

一方、図4は、光ファイバの比較例B1～B5における製造条件、及びその損失特性について示す表である。ここでは、製造される光ファイバとして、図2に示した構成を有する実施例A1～A4と同様のGe添加シングルモードファイバ(Ge-SM)を想定している。

【0075】

図4の表に示した比較例B1～B5のうち、比較例B1では、熱処理炉でのアニールを行わず、冷却手段への入線温度を1000℃に設定しており、得られた伝送損失は $\alpha_{1.55}=0.190$ dB/km、 $\alpha_{0.63}=12$ dB/kmとなっている。ここでは、光ファイバをアニールしていないために、レイリー散乱損失を含む伝送損失 $\alpha_{1.55}$ が大きくなっている。また、光ファイバ内での欠陥に起因する伝送損失 $\alpha_{0.63}$ も大きくなっている。

【0076】

また、比較例B2では、熱処理炉でのアニールを行わず、冷却手段への入線温度を500℃に設定しており、得られた伝送損失は $\alpha_{1.55}=0.190$ dB/km、 $\alpha_{0.63}=6$ dB/kmとなっている。ここでは、光ファイバをアニールしていないために、レイリー散乱損失を含む伝送損失 $\alpha_{1.55}$ が大きくなっている。ただし、冷却手段への入線温度が低いため、伝送損失 $\alpha_{0.63}$ は低くなっている。

【0077】

また、比較例B3では、熱処理炉でのアニール温度を900℃、冷却手段への

入線温度を 500℃ に設定しており、得られた伝送損失は $\alpha_{1.55} = 0.189$ dB/km、 $\alpha_{0.63} = 6$ dB/km となっている。ここでは、光ファイバのアニール温度が低いために、レイリー散乱損失を含む伝送損失 $\alpha_{1.55}$ が大きくなっている。ただし、冷却手段への入線温度が低いため、伝送損失 $\alpha_{0.63}$ は低くなっている。

【0078】

また、比較例 B4 では、熱処理炉でのアニール温度を 1100℃、冷却手段への入線温度を 500℃ に設定しており、得られた伝送損失は $\alpha_{1.55} = 0.185$ dB/km、 $\alpha_{0.63} = 6$ dB/km となっている。ここでは、光ファイバのアニール温度が比較的高く、レイリー散乱損失を含む伝送損失 $\alpha_{1.55}$ がある程度低減されている。また、冷却手段への入線温度も低く、伝送損失 $\alpha_{0.63}$ も低くなっており、損失特性については、良好な特性の光ファイバが得られている。しかしながら、このように冷却手段への入線温度を 500℃ と低くする場合、熱処理炉と冷却手段との間で光ファイバを十分に空冷しなくてはならず、線引装置を全体として小型化することができない。

【0079】

また、比較例 B5 では、熱処理炉でのアニール温度を 1650℃、冷却手段への入線温度を 1300℃ に設定しており、得られた伝送損失は $\alpha_{1.55} = 0.188$ dB/km、 $\alpha_{0.63} = 10$ dB/km となっている。ここでは、光ファイバのアニール温度が高過ぎるために、レイリー散乱損失を含む伝送損失 $\alpha_{1.55}$ が大きくなっている。また、光ファイバ内での欠陥に起因する伝送損失 $\alpha_{0.63}$ も大きくなっている。

【0080】

以上の実施例 A1～A4、及び比較例 B1～B5 より、熱処理炉による光ファイバのアニール温度を 1100℃ 以上 1600℃ 以下の温度とし、かつ、冷却手段への光ファイバの入線温度を 700℃ 以上の温度、好ましくは、700℃ 以上 1300℃ 以下の温度とすることにより、レイリー散乱損失が低減され、かつ、良好な耐水素特性を有する光ファイバが得られる。さらに、線引装置を小型化して、生産性良く光ファイバを製造することが可能となる。

【0081】

本発明による光ファイバについてさらに説明する。

【0082】

図5は、光ファイバの第2実施形態について、その屈折率プロファイルを示すグラフである。このグラフにおいて、横軸は光ファイバ内の各部位の中心軸からみた位置を示している。また、縦軸は光ファイバ内の各部位での純SiO₂に対する比屈折率差(%)を示している。

【0083】

本実施形態の光ファイバは、コア領域200と、コア領域200の外周に設けられたクラッド領域210とを備える。コア領域200は、光ファイバの中心軸を含んだ半径 r_0 の層として形成されている。また、このコア領域200は、上述した条件

$$[Ge] \geq 0.3\%$$

を満たす添加量でGeが添加されたSiO₂からなる。これにより、コア領域200の比屈折率差 Δn_0 は、 $\Delta n_0 = [Ge] > 0$ となっている。

【0084】

また、クラッド領域210は、本実施形態では、2層のクラッド層211、212から構成されている。内側の第1クラッド層211は、コア領域200の外周に設けられた半径 r_1 の層として形成されている。また、このクラッド層211は、Geが所定の添加量で添加されたSiO₂からなる。これにより、クラッド層211の比屈折率差 Δn_1 は、 $\Delta n_1 > 0$ となっている。

【0085】

また、外側の第2クラッド層212は、第1クラッド層211の外周に設けられた半径 r_2 の層として形成されている。また、このクラッド層212は、純SiO₂からなる。これにより、クラッド層212の比屈折率差 Δn_2 は、 $\Delta n_2 = 0$ となっている。

【0086】

なお、レイリー散乱係数A、波長 $1.00\mu\text{m}$ での伝送損失 $\alpha_{1.00}$ 、及び波長 $1.38\mu\text{m}$ での水素処理前後の伝送損失差 $\Delta\alpha_{1.38}$ については、図2に示した

第1実施形態の光ファイバについて上述した特性条件と同様である。また、このような構成の光ファイバは、例えば分散シフトファイバ(DSF)に好適に適用することが可能である。

【0087】

図6は、光ファイバの第3実施形態について、その屈折率プロファイルを示すグラフである。このグラフにおいて、横軸は光ファイバ内の各部位の中心軸からみた位置を示している。また、縦軸は光ファイバ内の各部位での純SiO₂に対する比屈折率差(%)を示している。

【0088】

本実施形態の光ファイバは、コア領域300と、コア領域300の外周に設けられたクラッド領域310とを備える。コア領域300は、光ファイバの中心軸を含んだ半径 r_0 の層として形成されている。また、このコア領域300は、上述した条件

$$[Ge] \geq 0.3\%$$

を満たす添加量でGeが添加されたSiO₂からなる。これにより、コア領域300の比屈折率差 Δn_0 は、 $\Delta n_0 = [Ge] > 0$ となっている。

【0089】

また、クラッド領域310は、本実施形態では、2層のクラッド層311、312から構成されている。内側の第1クラッド層311は、コア領域300の外周に設けられた半径 r_1 の層として形成されている。また、このクラッド層311は、Fが所定の添加量で添加されたSiO₂からなる。これにより、クラッド層311の比屈折率差 Δn_1 は、 $\Delta n_1 < 0$ となっている。

【0090】

また、外側の第2クラッド層312は、第1クラッド層311の外周に設けられた半径 r_2 の層として形成されている。また、このクラッド層312は、純SiO₂からなる。これにより、クラッド層312の比屈折率差 Δn_2 は、 $\Delta n_2 = 0$ となっている。

【0091】

なお、レイリー散乱係数A、波長 $1.00\mu\text{m}$ での伝送損失 α 1.00、及び波長

1. $38\mu\text{m}$ での水素処理前後の伝送損失差 $\Delta\alpha_{1.38}$ については、図2に示した第1実施形態の光ファイバについて上述した特性条件と同様である。また、このような構成を有する光ファイバは、例えば分散補償ファイバ(DCF)に好適に適用することが可能である。

【0092】

図2、図5、及び図6に示した各実施形態の光ファイバにおける伝送損失の低減効果、及び耐水素特性の向上効果について、具体的な実施例及び比較例とともに説明する。

【0093】

図7は、光ファイバの実施例C1～C3、及び比較例D1～D3における製造条件、及びその損失特性について示す表である。

【0094】

ここで、実施例C1及び比較例D1では、製造される光ファイバとして、図2に示した構成を有するGe添加シングルモードファイバ(Ge-SM)を想定している。具体的には、Geが添加されたSiO₂からなるコア領域100の外径を $2r_0=8\mu\text{m}$ 、比屈折率差を $\Delta n_0=[\text{Ge}]=0.35\%$ 、純SiO₂からなるクラッド層111の外径を $2r_1=125\mu\text{m}$ 、比屈折率差を $\Delta n_1=0\%$ に設定している。

【0095】

また、実施例C2及び比較例D2では、光ファイバとして、図5に示した構成を有する分散シフトファイバ(DSF)を想定している。具体的には、Geが添加されたSiO₂からなるコア領域200の外径を $2r_0=6\mu\text{m}$ 、比屈折率差を $\Delta n_0=[\text{Ge}]=0.6\%$ 、Geが添加されたSiO₂からなる第1クラッド層211の外径を $2r_1=40\mu\text{m}$ 、比屈折率差を $\Delta n_1=0.1\%$ 、純SiO₂からなる第2クラッド層212の外径を $2r_2=125\mu\text{m}$ 、比屈折率差を $\Delta n_2=0\%$ に設定している。

【0096】

また、実施例C3及び比較例D3では、光ファイバとして、図6に示した構成を有する分散補償ファイバ(DCF)を想定している。具体的には、Geが添加

されたSiO₂からなるコア領域300の外径を $2r_0=4\mu\text{m}$ 、比屈折率差を $\Delta n_0=[\text{Ge}]=1.5\%$ 、Fが添加されたSiO₂からなる第1クラッド層311の外径を $2r_1=8\mu\text{m}$ 、比屈折率差を $\Delta n_1=-0.4\%$ 、純SiO₂からなる第2クラッド層312の外径を $2r_2=125\mu\text{m}$ 、比屈折率差を $\Delta n_2=0\%$ に設定している。

【0097】

また、その製造条件については、実施例C1～C3では、熱処理炉における光ファイバのアニール温度を1400℃、冷却手段への光ファイバの入線温度を1000℃とする実施例A2（図3参照）での製造条件を用いている。また、比較例D1～D3では、熱処理炉における光ファイバのアニールを行わず、冷却手段への光ファイバの入線温度を1000℃とする比較例B1（図4参照）での製造条件を用いている。また、光ファイバの線速等については、図3及び図4の場合と同様である。

【0098】

また、図7の表には、各実施例及び比較例での光ファイバの損失特性として、波長 $1.55\mu\text{m}$ での伝送損失 $\alpha_{1.55}(\text{dB/km})$ 、及び波長 $1.38\mu\text{m}$ での水素処理前後の伝送損失差 $\Delta\alpha_{1.38}(\text{dB/km})$ を示している。ここで、波長 $1.38\mu\text{m}$ での伝送損失差 $\Delta\alpha_{1.38}$ は、図3に示した波長 $0.63\mu\text{m}$ での伝送損失 $\alpha_{0.63}$ と同様に、アニール後の光ファイバの冷却手段での強制冷却等による光ファイバ内での欠陥の低減効果を示している。

【0099】

図7の表に示した実施例C1～C3では、伝送損失はそれぞれ $\alpha_{1.55}=0.180$ 、 0.188 、 0.228 となっている。これらの値では、コアに添加されているGeの添加量に応じて伝送損失が増加しているものの、熱処理炉でのアニールによって光ファイバでのレイリー散乱損失が低減されて、レイリー散乱損失を含む波長 $1.55\mu\text{m}$ での伝送損失 $\alpha_{1.55}$ が低減されている。

【0100】

また、伝送損失差はそれぞれ $\Delta\alpha_{1.38}=0.05$ 、 0.07 、 0.11 となっている。これらの値では、冷却手段への入線温度の設定等によって光ファイバ内

での欠陥が減少されて、欠陥に起因する波長 $1.38\ \mu\text{m}$ での水素処理前後の伝送損失差 $\Delta\alpha_{1.38}$ が $0.15\ \text{dB/km}$ 以下に低減されている。

【0101】

一方、比較例 D1～D3 では、伝送損失はそれぞれ $\alpha_{1.55} = 0.190$ 、 0.200 、 0.245 、また、伝送損失差はそれぞれ $\Delta\alpha_{1.38} = 0.2$ 、 0.3 、 0.6 となっている。これらの値は、いずれも対応する実施例 C1～C3 での値よりも大きくなっており、光ファイバの損失特性、及び耐水素特性が劣化している。

【0102】

以上の実施例 C1～C3、及び比較例 D1～D3 より、熱処理炉による光ファイバのアニール温度を 1100°C 以上 1600°C 以下の温度とし、かつ、冷却手段への光ファイバの入線温度を 700°C 以上の温度とすることにより、図2、図5、及び図6にそれぞれ示した構成を有する光ファイバのいずれにおいても、レイリー散乱損失が低減され、かつ、良好な耐水素特性を有する光ファイバが得られることがわかる。

【0103】

図8は、光ファイバの実施例 E、及び比較例 F における光ファイバの製造時の温度変化について示す表である。この表では、熱処理炉の出口からの距離に対する光ファイバの温度変化 ($^\circ\text{C}$) を示している。

【0104】

具体的には、実施例 E 及び比較例 F では、熱処理炉の入口での光ファイバの温度を 1600°C 、光ファイバの線速を $1200\ \text{m/分}$ 、熱処理炉の長さを $2\ \text{m}$ 、アニール温度を 1200°C 、アニール時間を 0.1 秒に設定している。また、実施例 E では、熱処理炉の出口からの距離が $2\ \text{m} \sim 3\ \text{m}$ の範囲において、光ファイバに対して He 冷却手段による強制冷却を行っている。また、実施例 E 及び比較例 F では、図2に示した構成を有する Ge 添加シングルモードファイバを想定している。ガラスファイバの直径は $125\ \mu\text{m}$ である。

【0105】

また、光ファイバの温度変化については、Paek の式

$$\theta = \exp[-[(4h)/(\rho C_p V)]S]$$

または、この式を書き換えた次式

$$\theta = \exp[-[(4h)/(\rho C_p d)]t]$$

を用いて計算している。ここで、 h は熱伝達係数、 ρ は密度、 C_p は比熱、 V は光ファイバの線速、 d は光ファイバの直径、 t は経過時間である。

【0106】

また、 θ 及び S は、次式

$$\theta = (T - T_0) / (T_s - T_0)$$

$$S = z / d$$

によって表される。ここで、 T は温度、 T_s は軟化温度、 T_0 は雰囲気温度、 z は位置である（文献「U.C.Paek et.al., Journal of The American Ceramic Society Vol.58, No.7-8, pp.330-335」を参照）。

【0107】

図8の表において、実施例E及び比較例Fともに、熱処理炉の出口での光ファイバの温度は1499℃、出口から1mでは1299℃、2mでは1125℃となっている。そして、この後段において、He冷却手段によって強制冷却を行っている実施例Eでは、出口から3mで光ファイバの温度が600℃以下の553℃となっているのに対し、強制冷却を行わない比較例Fでは、出口から7mで600℃以下の554℃となっている。

【0108】

すなわち、この例では、熱処理炉の後段に冷却手段を設置したことにより、光ファイバの温度を600℃以下まで低減するための線引装置の長さを4m短縮することができ、線引装置を大幅に小型化することが可能となっている。これにより、線引装置の建設費用を低減することができる。また、線引時における光ファイバの線速を高くするなど、光ファイバの生産性を向上することができる。

【0109】

このような効果は、特に、線引時における光ファイバの線速が高い場合に顕著となる。例えば、図8に示した例では、線速1200m/分で4mのスペース短縮が可能となっている。このことから、光ファイバの線速が300m/分以上で

あれば、線引装置のスペースを1 m以上短縮することができる。

【0110】

また、熱処理炉による光ファイバのアニール時間については、長さ1 mの熱処理炉では、光ファイバの線速を300～1800 m/分とすれば、アニール時間は0.2～0.03秒となる。また、長さ4 mの熱処理炉では、アニール時間は0.8～0.13秒となる。したがって、このような条件では、熱処理炉によるアニール時間を0.03秒以上0.8秒以下とすることが好ましい。

【0111】

本発明による光ファイバ、及びその製造方法は、上述した実施形態及び実施例に限られるものではなく、様々な変形が可能である。例えば、線引装置の具体的な構成については、図1はその一例を示すものであり、上述した製造方法を実現可能なものであれば、他の構成の線引装置を用いても良い。

【0112】

【発明の効果】

本発明による光ファイバ、及びその製造方法は、以上詳細に説明したように、次のような効果を得る。すなわち、光ファイバの線引時において、線引炉の後段の熱処理炉によって1100℃以上1600℃以下の温度で光ファイバをアニールするとともに、熱処理炉の後段の冷却手段へと700℃以上の温度で光ファイバを入線して強制冷却を行う光ファイバの製造方法によれば、レイリー散乱損失が低減され、かつ、良好な耐水素特性を有する光ファイバを生産性良く製造することが可能となる。

【0113】

また、コア領域に条件 $[Ge] \geq 0.3\%$ を満たす添加量でGeが添加され、レイリー散乱係数A、及び波長 $1.00 \mu m$ での伝送損失 $\alpha_{1.00}$ が、それぞれ通常の基準値 A_0 、及び α_0 に対して97%以下であり、かつ、波長 $1.38 \mu m$ での水素処理前後の伝送損失差 $\Delta \alpha_{1.38}$ が $0.15 dB/km$ 以下である光ファイバによれば、レイリー散乱損失が低減され、かつ、良好な耐水素特性を有する光ファイバが得られる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

光ファイバの製造方法、及び光ファイバの製造に用いられる線引装置の一実施形態を概略的に示す構成図である。

【図 2】

光ファイバの第 1 実施形態での屈折率プロファイルを示すグラフである。

【図 3】

光ファイバの実施例 A 1 ~ A 4 における製造条件及び損失特性について示す表である。

【図 4】

光ファイバの比較例 B 1 ~ B 5 における製造条件及び損失特性について示す表である。

【図 5】

光ファイバの第 2 実施形態での屈折率プロファイルを示すグラフである。

【図 6】

光ファイバの第 3 実施形態での屈折率プロファイルを示すグラフである。

【図 7】

光ファイバの実施例 C 1 ~ C 3、及び比較例 D 1 ~ D 3 における製造条件及び損失特性について示す表である。

【図 8】

光ファイバの実施例 E、及び比較例 F における光ファイバの製造時での温度変化について示す表である。

【符号の説明】

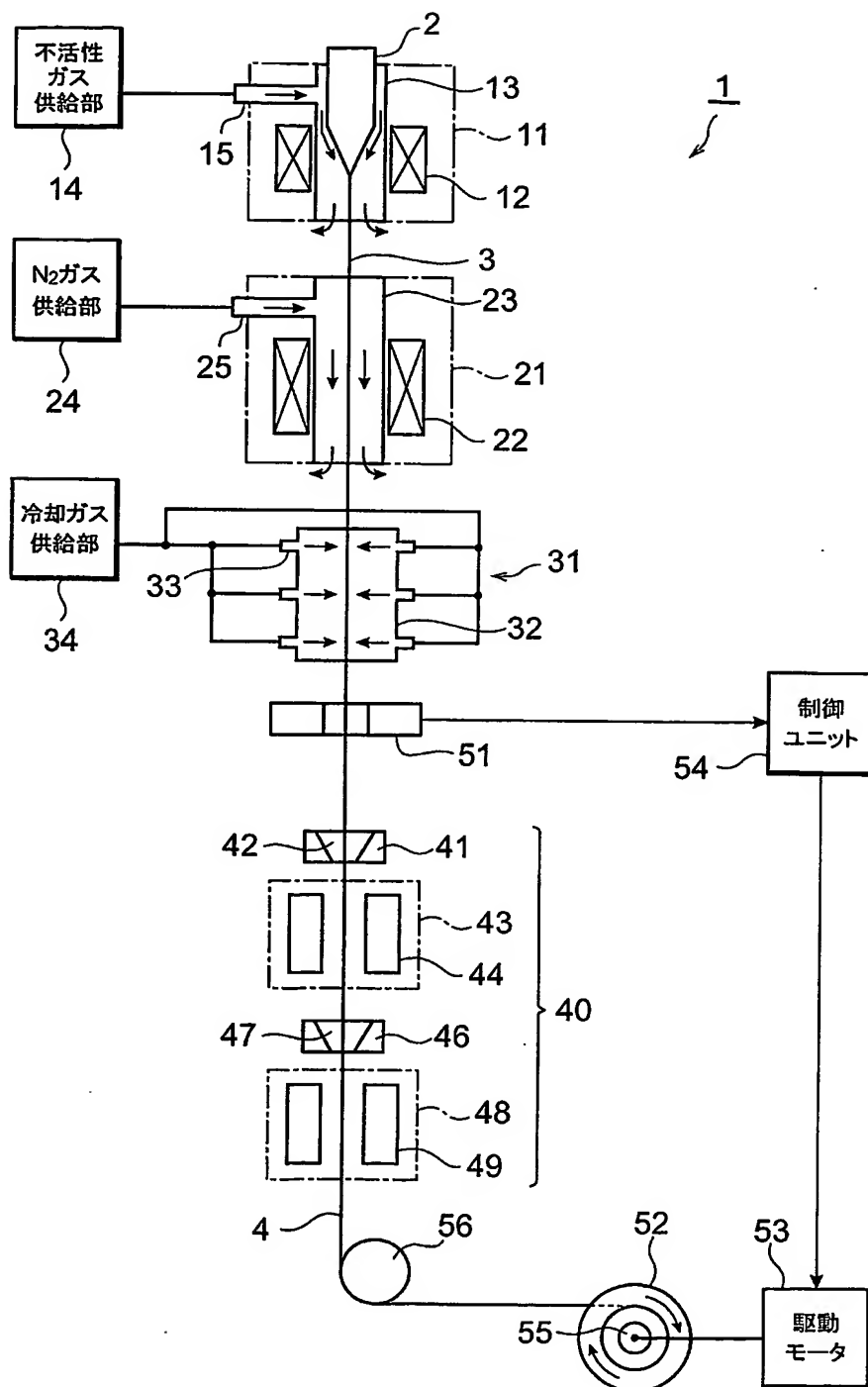
1…線引装置、2…光ファイバ母材、3…ガラスファイバ、4…光ファイバ素線、11…線引炉、12…ヒータ、13…炉心管、14…不活性ガス供給部、15…ガス供給通路、21…熱処理炉、22…ヒータ、23…炉心管、24…N₂ガス供給部、25…ガス供給通路、31…冷却手段、32…円筒管、33…ノズル、34…冷却ガス供給部、40…樹脂被覆部、41…コーティングダイス、42…UV樹脂、43…樹脂硬化部、44…UVランプ、46…コーティングダイス、47…UV樹脂、48…樹脂硬化部、49…UVランプ、51…外径測定器

、 5 2 … ドラム、 5 3 … 駆動モータ、 5 4 … 制御ユニット、 5 5 … 回転駆動軸、
5 6 … ガイドローラ。

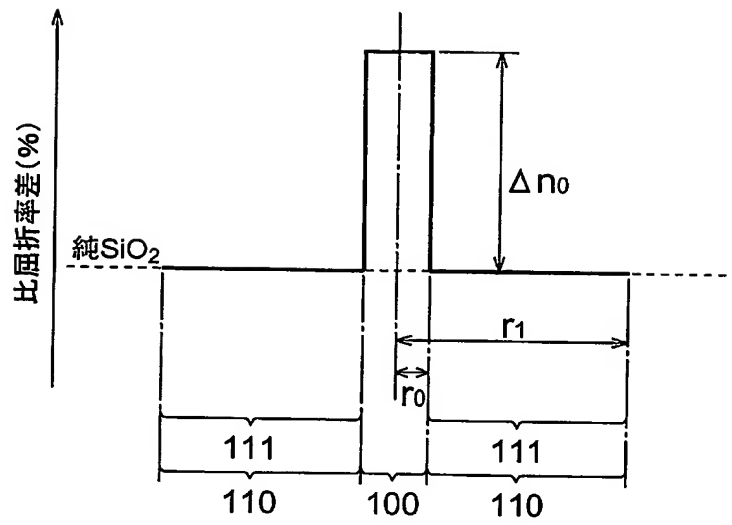
【書類名】

図面

【図 1】



【図 2】



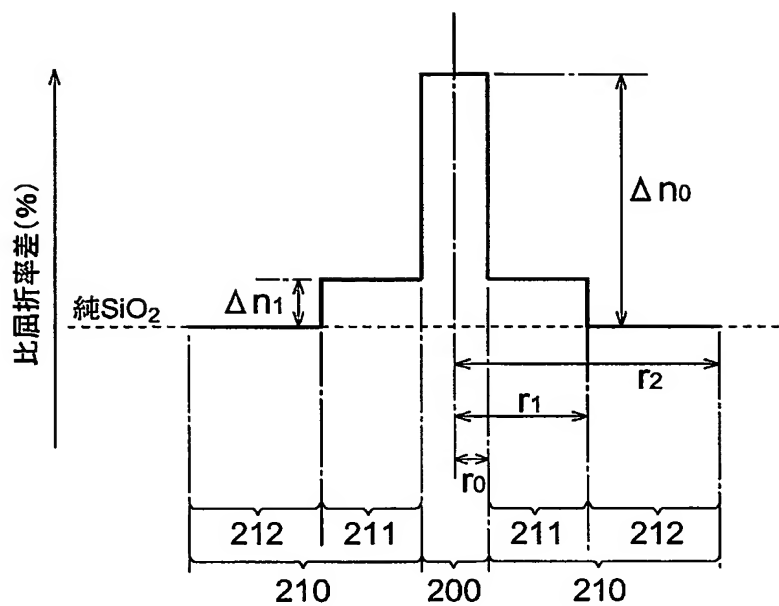
【図 3】

	熱処理炉 アニール温度 (°C)	冷却手段 入線温度 (°C)	伝送損失 @1.55 μ m (dB/km)	伝送損失 @0.63 μ m (dB/km)
実施例A1	1100	700	0.185	6
実施例A2	1400	1000	0.180	6
実施例A3	1550	1200	0.182	7
実施例A4	1550	1300	0.182	9

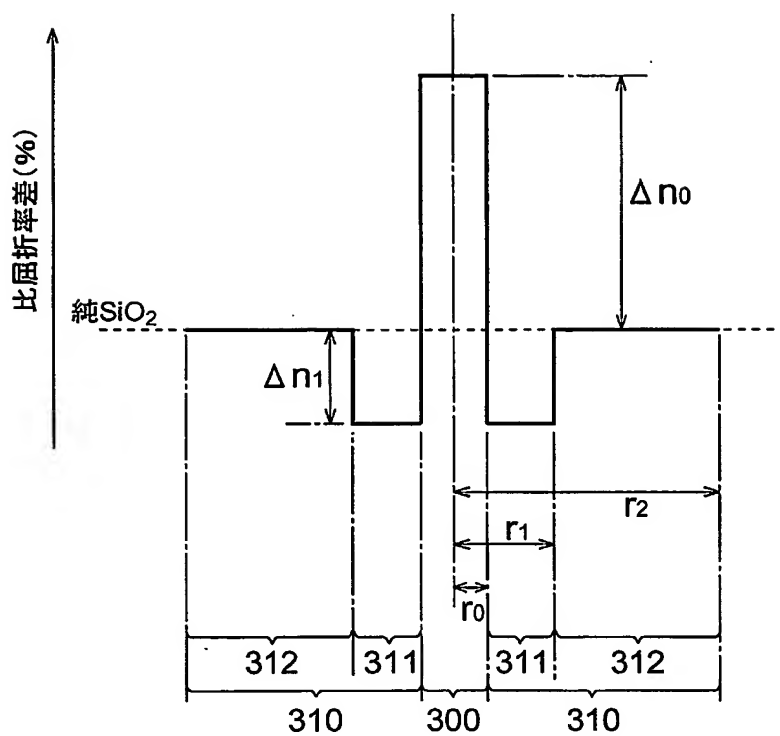
【図 4】

	熱処理炉 アニール温度 (°C)	冷却手段 入線温度 (°C)	伝送損失 @1.55 μ m (dB/km)	伝送損失 @0.63 μ m (dB/km)
比較例B1	なし	1000	0.190	12
比較例B2	なし	500	0.190	6
比較例B3	900	500	0.189	6
比較例B4	1100	500	0.185	6
比較例B5	1650	1300	0.188	10

【図 5】



【図 6】



【図 7】

	光ファイバ の種類	コア領域 Ge添加量	伝送損失 @1.55 μ m (dB/km)	損失増加 $\Delta \alpha$ 1.38 (dB/km)
実施例C1	Ge-SM	$\Delta n_0 =$ 0.35%	0.180	0.05
比較例D1			0.190	0.2
実施例C2	DSF	$\Delta n_0 =$ 0.6%	0.188	0.07
比較例D2			0.200	0.3
実施例C3	DCF	$\Delta n_0 =$ 1.5%	0.228	0.11
比較例D3			0.245	0.6

【図 8】

	熱処理炉 出口	1m	2m	—	3m	4m	5m	6m	7m
実施例E	1499	1299	1125	強制 冷却	553	—	—	—	—
比較例F	1499	1299	1125	—	976	846	736	637	554

(光ファイバの温度:℃)

【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 レイリー散乱損失が低減され、かつ、良好な耐水素特性を有する光ファイバを生産性良く製造することが可能な光ファイバ、及びその製造方法を提供する。

【解決手段】 コア領域に純 SiO_2 に対する % で表した比屈折率差 $[\text{Ge}]$ が条件 $[\text{Ge}] \geq 0.3\%$ を満たす添加量で Ge が添加された光ファイバ母材 2 を準備し、線引炉 11 で加熱線引して光ファイバ 3 とした後、線引炉 11 の後段に設けられた熱処理炉 21 において、光ファイバ 3 を 1100°C 以上 1600°C 以下の範囲内での所定温度でアニールする。さらに、アニールされた光ファイバ 3 を、熱処理炉 21 の後段に設けられた冷却手段 31 へと 700°C 以上の入線温度で入線し、冷却手段 31 によって光ファイバ 3 を強制冷却する。

【選択図】 図 1

特願2002-201795

出願人履歴情報

識別番号

[000002130]

1. 変更年月日

1990年 8月29日

[変更理由]

新規登録

住 所

大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号

氏 名

住友電気工業株式会社